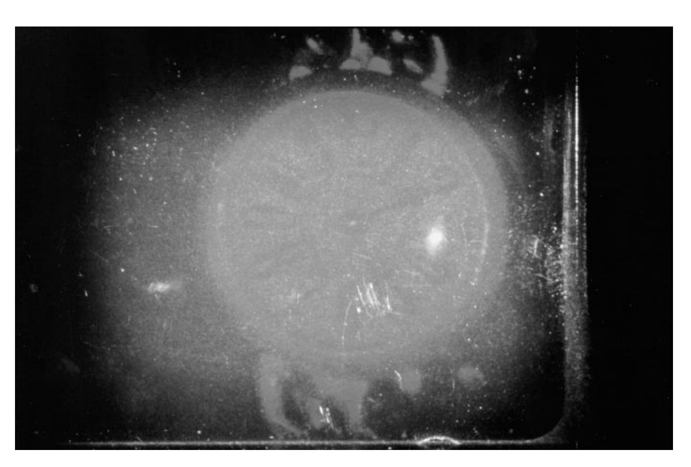
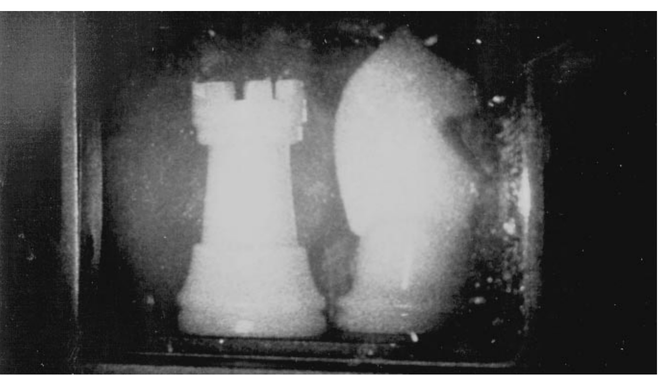
Réalisation d'hologrammes de lumière blanche sur la plaque de base pour optique laser

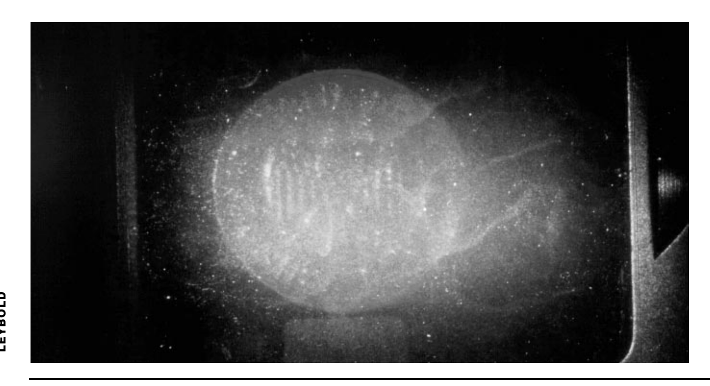
Objectifs

- Enregistrement d'hologrammes de lumière blanche
- Distinction entre hologrammes de phase et d'amplitude et leur traitement photochimique
- Reconstruction des hologrammes par réflexion de lumière blanche

Fig. 1: Photographies d'hologrammes







Principe

En photographie, l'image de l'objet à photographier est imprimée sur le film. Par contre, en holographie, ce sont les ondes lumineuses réfléchies sur la surface de l'objet qui sont recueillies. Le film ne reproduit pas uniquement l'amplitude des ondes mais également leur phase. Ainsi, l'hologramme conserve la position de chaque point de l'objet dans l'espace.

Il existe différents types d'hologrammes. De par sa simplicité, le montage utilisé pour l'enregistrement des hologrammes dont la reconstruction se fera par réflexion de lumière blanche convient particulièrement aux débutants.

Les hologrammes de lumière blanche sont formés à partir d'un faisceau laser qui traverse un milieu d'absorption (film) avant d'atteindre un objet placé derrière. La lumière réfléchie par la surface irrégulière de l'objet est renvoyée dans le milieu d'absorption où elle se superpose avec les ondes lumineuses du faisceau initial. Des ondes verticales dues à des phénomènes d'interférence apparaissent à l'intérieur du milieu d'absorption. Il s'agit d'une succession de noeuds et de ventres espacés de $\lambda/4$. Les ventres sont éclairés alors que les noeuds ne le sont pas. La lumière est retenue par des couches semi-translucides en argent métallique. Il en résulte un réseau de diffraction tridimensionnel où des informations sur l'objet sont enregistrées sous forme d'une sorte de code optique.

Lors de la reconstruction, la lumière qui arrive sur l'hologramme achevé est réfléchie par les couches semi-translucides. Elle possède les mêmes propriétés que les ondes provenant initialement de l'objet. Les faisceaux lumineux issus de différentes couches deviennent uniquement plus intenses s'ils ont la même phase. Dans le cas de la reconstruction d'images, l'hologramme sélectionne alors les longueurs d'ondes. Etant donné que les phases ne sont égales que pour une longueur d'onde définie, il est possible de reconstruire l'image à l'aide de la lumière blanche. Un hologramme de lumière blanche a donc la propriété de pouvoir sélectionner parmi les nombreuses longueurs d'ondes, celle qui est nécessaire à la formation de l'image tridimensionnelle de l'objet.

Il est possible de faire la distinction entre deux types d'hologrammes d'après le traitement photochimique auquel on soumet le film éclairé:

0705-Wit

Matériel

1 plaque de base pour optique laser	473 40
1 laser He-Ne à polarisation rectiligne	471 840
1 porte-laser	473 41
3 pieds pour optique	473 42
1 porte-film	473 44
1 porte-objet	473 45
1 lentille sphérique, f = 2,7 mm	473 47
1 règle en bois	311 03
1 prise de distribution (prises à contacts de protection)	663 615
1 chronomètre »AMIGO»	597 41
1 jeu de 6 casiers,1 × 1 UD	649 11
3 flacons en polyéthylène, 1000 ml	661 234
1 paire de ciseaux pointus, 200 mm	667 016
1 film pour holographie[1]	473 442
1 lot d'accessoires pour chambre noire	473 446
1 lot de produits photochimiques[2]	473 444
Pour la réalisation des hologrammes de phase:	
fer (III)-nitrate à 9 molécules d'eau, 250 g	671 891
bromure de potassium (KBr), 50 g	672 491

matériel supplémentaire:
1 goutte de liquide vaisselle
1 surface absorbante, par ex. un torchon de cuisine

approprié:

[1] Agfa-Gevaert 2NFXQ HOLOFI 8E75 T3 HD NAH
[2] révélateur SW Agfa Neutol,
fixateur Tetenal Superfix

Consignes de sécurité

Le laser He-Ne répond à la norme de sécurité allemande DIN 58126 (6ème partie) sur l'utilisation en cours de lasers de classe 2. Si les consignes de sécurité mentionnées dans le mode d'emploi sont respectées, les expériences avec le laser He-Ne ne présentent aucun danger:

- ne pas regarder directement le faisceau laser, ni le faisceau réfléchi.
- ne pas franchir les limites de sécurité, c'est-à-dire qu'aucun observateur ne doit être ébloui.

Certains produits photochimiques sont toxiques et corrosifs.

- Toujours respecter les consignes de sécurité indiquées sur l'emballage.
- Se munir de lunettes et de gants de protection ainsi que d'une blouse.

Les produits photochimiques sont polluants. Ne pas les jeter avec les eaux usées.

- Les éliminer en tant que déchets spéciaux.

Un hologramme d'amplitude se compose de zones opaques et de zones translucides dues aux grains d'argent qui apparaissent après développement.

Dans le cas d'un hologramme de phase, on élimine le noircissement de la couche développée par un procédé de décoloration. Suivant le procédé de décoloration employé, l'information est conservée par variation de l'indice de réfraction, de l'épaisseur et de l'ondulation en relief de l'hologramme. Lors de la reconstruction, les ondes lumineuses doivent avoir des chemins géométriques et optiques distincts d'où l'apparition d'une différence de marche entre elles. On dit que l'hologramme est en modulation de phase.

Etant donné que les hologrammes de phase n'absorbent pas l'énergie lumineuse mise en jeu lors de la reconstruction, ils sont beaucoup plus intenses que les hologrammes d'amplitude noircis. C'est pourquoi, aujourd'hui, on utilise de préférence des hologrammes de phase dans l'industrie.

Remarques préalables

La réalisation de bons hologrammes nécessite certaines précautions. Des facteurs extérieurs et une mauvaise manipulation peuvent facilement empêcher la formation de l'hologramme ou, du moins, en amoindrir la qualité.

Facteurs d'influence extérieurs:

Parmi les perturbations les plus importantes, on compte les mouvements incontrôlables entre le champ d'interférence et le milieu d'absorption. Une simple variation de la longueur du chemin optique de l'ordre de $\lambda/4$, entre l'objet et le milieu d'absorption, lors de l'enregistrement, détruit totalement l'hologramme.

Ces perturbations sont causées par exemple par des secousses au niveau du montage ou par des couches d'air réfringentes en mouvement. En l'occurence, ces facteurs externes sont considérablement minimisés car l'expérience est réalisée sur une plaque de base qui amortit les vibrations. Cette dernière repose sur un matelas d'air isolant et possède un couvercle qui permet d'éviter la convection.

Bien que le montage soit très bien isolé des vibrations, il est possible que des secousses externes lui soient transmises. Elles peuvent être assez fortes pour avoir une influence sur le champ d'interférences, pendant l'enregistrement. Ces secousses sont dues, par exemple, à une porte claquée, des pas lourds ou une machine en fonctionnement. Ces causes doivent être écartées.

Les variations de température et de pression du milieu ambiant ont également une grande influence sur le champ d'interférence puisqu'elles modifient l'indice de réfraction de l'air. L'aération, les courants d'air ou la proximité d'appareils de chauffage sont défavorables. Ces derniers ont des répercussions encore plus importantes lorsqu'ils viennent d'être mis en service. L'expérimentateur lui-même peut provoquer l'apparition de couches d'air réfringentes. Aussi, devrait-il éviter de s'approcher trop près et d'expirer de l'air dans le montage, au cours de l'expérience. Ceci vaut également pour toutes les personnes qui se trouvent dans la salle d'expériences. Ces facteurs de perturbations sont fortement minimisés lorsque l'on utilise le couvercle.

L'interféromètre de Michelson, qui peut aussi être monté sur la plaque de base pour optique laser (voir »Montage de l'interféromètre de Michelson sur la plaque de base pour optique laser»), permet de mettre facilement en évidence l'influence des secousses mécaniques et des couches d'air réfringentes en mouvement. Cet interféromètre est plus sensible que le montage employé ici, pour l'holographie et réagit aux perturbations en question par un mouvement de l'échantillon d'interférence. Par conséquent, il est très utile à l'expérimentateur pour déterminer les facteurs d'influence extérieurs.

Choix de l'objet:

L'objet dont on désire réaliser l'hologramme doit être suffisamment rigide. Les métaux, les plastiques durs , le bois et la pierre, par exemple, sont adaptés à l'holographie. Par contre, les matériaux mous tels que les textiles, le papier ou les plantes ne le sont pas car ils ont tendance à se déplacer au cours des enregistrements.

Les objets vacillants doivent être maintenus par le bras du porte-objet afin d'être plus stables sur la plaque de support. Les voitures miniatures sont souvent montées sur ressorts, c'est pourquoi la plaque de support du porte-objet est munie, sur le côté, d'une barre étroite où elles peuvent être placées de sorte que leurs roues tournent dans le vide.

Seuls les objets réfléchissant une grande partie du faisceau laser, permettent d'obtenir de bons hologrammes de lumière blanche. On peut vaporiser les objets sombres à l'aide de sprays de couleur claire ou argentée. Plus ils réfléchissent de lumière sur le film, plus l'hologramme est intense. Ainsi, les pièces de monnaie donnent de très bons résultats.

Manipulation des composants optiques:

Les poussières, les rayures ou les empreintes digitales qui peuvent être laissées sur les lentilles et la lame séparatrice variable, suite à une mauvaise manipulation, provoquent également des phénomènes d'interférence très contrastés. En effet, la lumière est diffractée par ces impuretés et, de ce fait, les domaines holographiques correspondant aux maxima de diffraction sont trop éclairés alors que ceux correspondant aux minima sont trop peu éclairés. La qualité de la reconstruction de l'hologramme en est amoindrie, aussi, les composants doivent-ils être manipulés avec précautions et stockés à l'abri de la poussière. Eviter également d'abîmer leur surface et de les prendre directement en main.

Les lentilles salies peuvent être retirées de leur porte-lentille et nettoyées au moyen d'un tissu non effiloché ou de papier pour l'entretien des lentilles. Respecter absolument le mode d'emploi!

Consignes relatives à la salle d'expériences:

La salle d'expériences doit pouvoir être assombrie, présenter peu de sources de vibrations et une stabilité thermique suffisante. En outre, on doit disposer d'une source d'alimentation en courant pour le laser et la lampe de la chambre noire, d'un point d'eau courante pour l'immersion finale et d'une table de faible hauteur.

Préparation

Découpage du film:

Etant donné que le film est très peu sensible pour une longueur d'onde de 505 nm, on peut utiliser une ampoule vert foncé ou bleu-vert pour faciliter l'orientation.
Ne pas exposer le film directement à la lumière.

Attention au côté enduit! Le bord du film comporte une encoche. Si elle se situe en-bas, à droite ou en-haut, à gauche, le côté enduit ne fait pas face à l'observateur.
Manipuler le film avec précautions afin de ne pas abîmer le côté enduit.

Le film se compose de plaquettes de plastique enduites (film rigide), de 10,2 cm × 12,7 cm, qui doivent être découpées à un format adéquat.

– Retirer le nombre de plaquettes désiré, dans l'obscurité totale, puis replacer le reste du film dans un emballage opaque (un stockage au frais permet de conserver le film plus longtemps).
– Délimiter des surfaces de 42 mm×51 mm (tolérance: 1 mm), par exemple à l'aide d'un crayon de couleur fin, puis les découper (voir Mode d'emploi de la collection Optique Laser).
– Ranger les pièces découpées dans une boîte opaque en prenant garde de toujours placer les côtés enduits dans le même sens. Les utiliser dans les semaines qui suivent.

Stockage des produits photochimiques:

– nettoyer soigneusement les récipients de stockage (flacons de polyéthylène).
– placer le révélateur dans un récipient de stockage, selon le mode d'emploi et en verser une partie dans le casier de rangement qui lui correspond.

Pour la réalisation des hologrammes de phase:

– verser une partie du bain de décoloration composé de 100 g de fer (III)-nitrate à 9 molécules d'eau et de 30 g de bromure de potassium (KBr) mélangés à 1 l d'eau (éventuellement distillée) dans un autre récipient de stockage et une partie dans le casier correspondant.

et/ou pour la réalisation des hologrammes d'amplitude:

– verser une partie du fixateur dans un récipient de stockage, selon les instructions du fabricant et une autre partie dans le casier correspondant.
– remplir un casier d'eau (bain d'arrêt).
– remplir un autre casier d'eau et ajouter une goutte de liquide vaisselle.
– avoir à proximité, un casier destiné à l'immersion finale.
– indiquer la nature du contenu sur chaque casier.

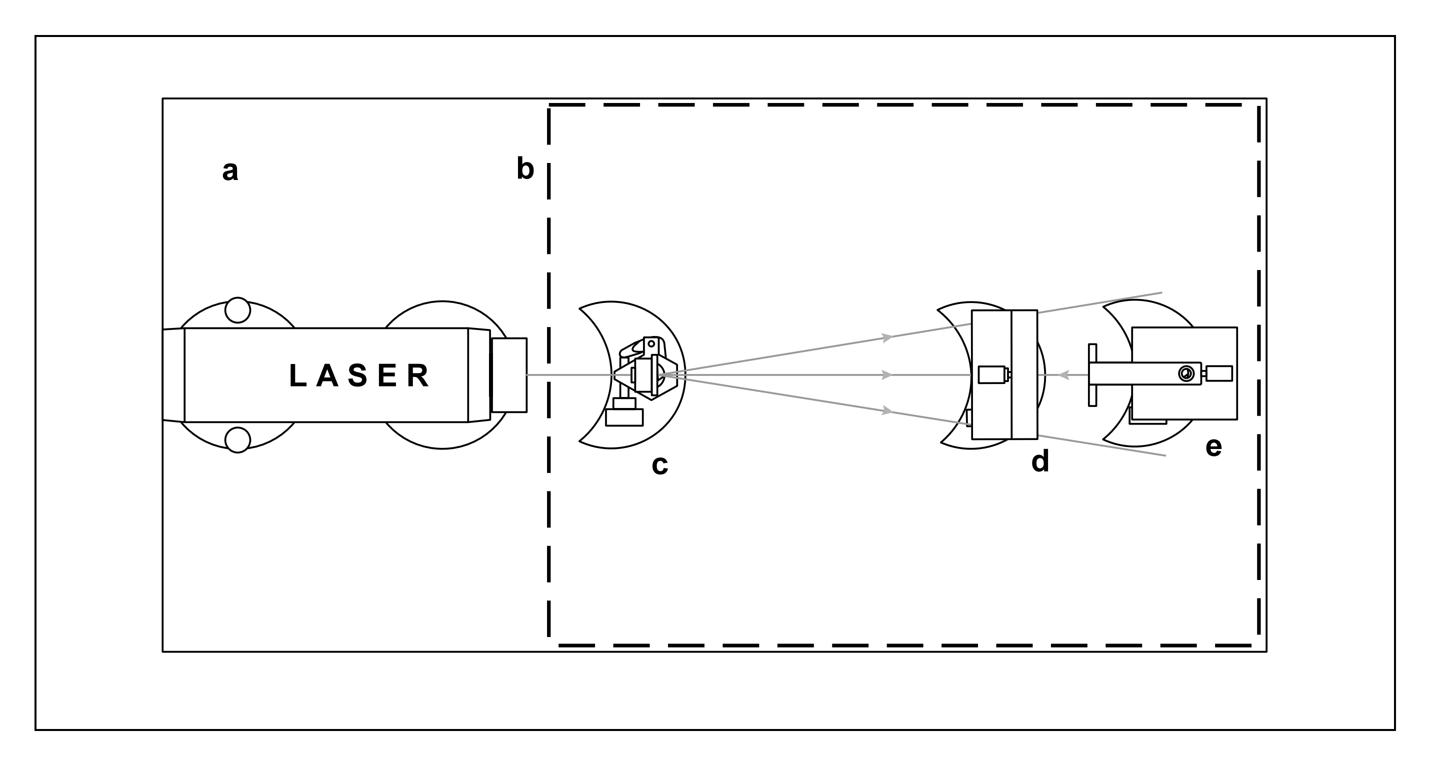


Fig. 2: Montage expérimental pour l'enregistrement des hologrammes de lumière blanche sur la plaque de base pour optique laser. Vu de dessus
a Plaque de base pour optique laser
b Couvercle de protection
c Lentille sphérique
d Porte-film
e Porte-objet

Montage

La disposition des composants optiques sur la plaque pour optique laser est représentée sur la figure 2. Les étapes suivantes sont nécessaires au montage (veiller à bien caler tous les composants dans leur support):

Plaque de base et laser:

– Gonfler le matelas d'air isolant.
– Fixer le couvercle **(b)** sur la plaque de base pour optique laser **(a)**.
– Installer la plaque de base et le matelas d'air isolant horizontalement sur la table de démonstration.
– Monter le laser sur le porte-laser.
– Placer le laser à l'extrémité gauche de la plaque de base afin que le couvercle se ferme sans problème.
– Brancher le laser sur la prise de distribution et l'allumer.
– Desserrer les contre-écrous des trois vis de réglage.
– Régler la hauteur et l'inclinaison des vis de sorte que son faisceau passe horizontalement à environ 75 mm au-dessus de la plaque de base (il reste alors suffisamment de jeu pour un réglage précis). Vérifier au moyen de la règle en bois.
– Resserrer les contre-écrous.

Porte-film:

– Insérer un rectangle de papier blanc dans le porte-film **(d)** et placer ce dernier à environ 25 – 30 cm du laser, comme sur la figure 2, afin que le faisceau pénètre par l'arrière et le centre du porte-film.

Lentille sphérique:

Remarques:

Il est possible de faire varier la surface couverte par le faisceau laser en modifiant la distance entre le porte-film et la lentille. On ne peut obtenir un hologramme qu'aux endroits où le film est éclairé par le faisceau de référence. C'est pourquoi, cette surface devrait avoir, au minimum, la taille de l'objet à holographier. De plus, le faisceau est plus intense lorsqu'il est très peu élargi. La durée d'éclairage peut donc être réduite ce qui minimise l'influence des facteurs extérieurs, au cours de l'enregistrement de l'hologramme.

La netteté du faisceau élargi est particulièrement importante pour la qualité de l'hologramme. Le faisceau de référence doit donc présenter le moins de figures de diffraction possible. Ces dernières proviennent soit d'un mauvais réglage, soit d'impuretés ou de rayures laissées sur la lentille ou la lame séparatrice.

– Placer la lentille sphérique **(c)** (plus petite ouverture d'entrée du porte-lentille tournée vers le laser) entre le porte-film et le laser pour élargir le faisceau.
– Disposer la lentille latéralement et en hauteur de sorte qu'elle soit traversée axialement par le faisceau laser. Choisir une distance assez grande par rapport au laser pour que le couvercle de protection **(b)** se ferme sans problème (voir Fig. 2).

Porte-objet:

– Retirer le morceau de papier du porte-film.
– Fixer l'objet sur le porte-objet **(e)**, si possible avec le bras de support.
– Placer le porte-objet près du film, dans la mesure du possible, comme le montre la figure 2. L'objet doit réfléchir un maximum de lumière sur le film et être bien éclairé. De plus, le faisceau doit parvenir en son centre.
– Faire en sorte que l'on puisse toujours fermer le couvercle.
– Régler la puissance du laser à 1 mW et vérifier la netteté et la marche du faisceau élargi. Réajuster la lentille, si nécessaire.

Réalisation

Montage du film:

Une ampoule vert foncé (ou bleu-vert) de faible intensité, peut être utilisée pour faciliter l'orientation.

Dans ce cas, tenir le film à distance afin qu'il ne soit pas éclairé directement.

– Eteindre le laser. Afin de ne pas produire de vibrations lors de l'exposition, arrêter l'alimentation en courant à l'aide de l'interrupteur de la prise de distribution et non de la clé du laser.
– Retirer, avec précautions, le porte-film **(g)** du montage en maintenant son pied pour optique avec le doigt.
– Assombrir la pièce.
– Retirer un morceau de film de la boîte opaque en prenant soin de le tenir par le bord pour ne pas abîmer la couche d'émulsion.
– Ouvrir les mâchoires de serrage du porte-film à l'aide de la vis moletée.
– Insérer le film dans le porte-film de sorte que lorsque l'on replace ce dernier dans le montage, le côté enduit soit tourné vers l'objet.
– Tendre le film en fermant les mâchoires de serrage.
– Replacer le porte-film dans le montage en maintenant son pied pour optique avec le doigt.
– Fermer le couvercle.

Eclairage:

La durée optimale d'éclairage dépend de l'élargissement du faisceau, de l'objet et de la nature de l'hologramme. Elle doit être déterminée empiriquement. Pour les hologrammes de phase, on peut choisir comme point de départ, une durée de 1 à 3 s, pour une puissance de 1 mW. Dans le cas des hologrammes d'amplitude, cette durée est 3 à 4 fois plus courte.

Pour diminuer la puissance du laser à 0,2 mW, on se sert d'un filtre gris qui réduit la qualité de l'hologramme en provoquant des phénomènes d'interférence supplémentaires et nécessite des durées d'éclairage cinq fois plus grandes.

– Attendre environ cinq minutes afin que le film et les composants du montage s'adaptent à la température ambiante et que les torsions du film disparaissent.
– Pendant l'éclairage, éviter tout ce qui peut perturber le champ d'interférences à la surface du film (voir Remarques préalables).
– Eclairer le film en allumant et éteignant le laser à l'aide de la prise de distribution, sans provoquer de secousses (par ex. en tirant sur le câble de raccordement au réseau).
– Relever le couvercle, retirer le porte-film du montage,ouvrir les mâchoires de serrage et sortir le film. Prendre soin de tenir ce dernier par le bord.

Traitement photochimique:

Lorsque la durée d'éclairage appropriée a été choisie, les hologrammes de phase sont gris foncé, aprés développement, et les hologrammes d'amplitude gris clair. Les holographes expérimentés peuvent modifier légèrement cette durée afin d'optimaliser les résultats. Si l'on utilise un vieux révélateur ou un révélateur ayant déjà servi, augmenter le temps de développement car le produit a perdu de son efficacité.

– Tenir le film par un coin à l'aide de la pince, le plonger dans le révélateur et lui donner un mouvement de va-et-vient pendant 60 s.
– Interrompre le développement en déplaçant continuellement le film dans un casier d'eau (bain d'arrêt), pendant 2 minutes. La phase photosensible est à présent terminée et la lumière peut être réallumée, si besoin est.
– Pour la formation d'hologrammes de phase, plonger le film dans le décolorant et lui donner occasionnellement un mouvement de va-et-vient. Ne pas le traiter avec le fixateur avant que le noircissement ait totalement disparu.
– Pour la réalisation d'hologrammes d'amplitude, traiter le film avec le fixateur selon les instructions du fabricant.
– Immerger l'hologramme pendant 5 à 10 minutes dans de l'eau courante.
– Le plonger, pendant quelques secondes, dans de l'eau contenant une goutte de liquide vaisselle pour éviter l'apparition de taches lors du séchage.
– Pour le séchage, poser l'hologramme contre un objet, perpendiculairement à la surface absorbante.
– Laver soigneusement la pince à photos avec de l'eau.

Analyse

Après séchage, il est possible de reconstruire l'hologramme à l'aide de la lumière blanche. Pour ce faire, il est nécessaire de l'éclairer du même côté que lors de l'enregistrement. On conserve cette position pour l'observation. L'hologramme est le plus net lorsqu'on le reconstruit avec de la lumière homogène de même divergence que le faisceau laser élargi. Les lampes de poche, les lampes halogènes et les rayons solaires de forte intensité sont de bonnes sources de lumière pour la reconstruction. Lorsque l'on déplace la source lumineuse, l'hologramme présente des propriétés réfléchissantes similaires à celles de l'objet.

Si l'on éclaire l'hologramme du mauvais côté, l'objet observé (légèrement moins net) semble être placé devant le plan du film.

Information complémentaire

Les hologrammes de phase sont plus sensibles à la lumière que les hologrammes d'amplitude. On peut les décolorer plus facilement et améliorer leur stabilité à la lumière en les plongeant dans une solution composée de 2,5 g d'iodure de potassium (KI) et d'1 l d'eau. Lors de ce procédé, les hologrammes prennent une teinte jaune pâle.

Au cours de l'enregistrement de l'hologramme, le film ne doit pas être placé perpendiculairement au faisceau laser. Il vaut mieux le disposer en biais afin que l'observateur ne soit pas ébloui par la lumière qui y est réfléchie, lors de la reconstruction. De plus, on peut ainsi éclairer le film sur toute sa largeur.